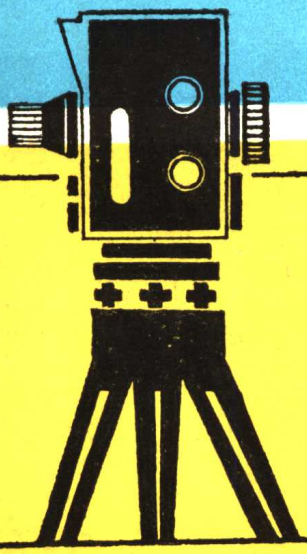
电磁波测距译文专辑

国家测绘总局测绘研究所编



测绘出版社

电磁波测距译文专辑

国家测绘总局测绘研究所编

测绘出版社

本专辑包括近十年来国外电磁波测距仪在设计、制造、检验及使用经验等方面的译文共三十一篇。其中包括目前国外精度好和自动化程度高的最新测距仪。书末附有国外光电测距仪一览表。可供从事大地测量、工程测量工作的科技、教学人员和研制电磁波测距仪的有关人员参考。

电磁波测距译文专辑

国家测绘总局测绘研究所编

*

测绘出版社出版

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

开本787×1092 1/16・印张17・插页1・字数393千字

1980年5月第一版・1980年5月第一次印刷

印数1—2750册・定价1.90元

统一书号：15039・新119

前　言

为了适应广大测绘工作者的需要，我们本着“洋为中用”的方针，组织编译了这本《电磁波测距译文专辑》。

在编辑过程中，承蒙武汉测绘学院陈健和丁窘韬二位同志为《专辑》校订了部份德文资料的译稿；承蒙清华大学储钟瑞同志为《专辑》校订了部份英文资料的译稿，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，《专辑》中难免有不少缺点和错误，欢迎批评指正。

编　者

1978年10月

目　录

电子测距二波和三波法的误差理论……（1）
Mekometer Ⅱ的电子学原理……（6）
Mekometer Ⅱ：亚毫米分辨率的光电测距仪……（11）
Mekometer ME 3000粗距的测定……（23）
Mekometer ME 3000的频率研究……（34）
采用Mekometer ME 3000光电测距仪进行精密测距……（47）
一种轻便的双色激光测距仪……（63）
DM 1000红外测距仪……（81）
DM 500 电子测距仪……（86）
DI3 型红外测距仪电路的某些特点……（88）
CM-3 型光电测距仪简介……（93）
短程光电测距仪的研制……（95）
短程电子测距仪（精度要求和检验方法）……（100）
测定长度时降低折射率误差的方法……（107）
应用光波和微波进行两次24小时的平行观测……（124）
激光测距仪和微波测距仪的平行观测……（133）
各种光电测距仪的比较测定结果……（144）
用短程电子测距仪所作的三边测量与三角测量作比较……（152）
HP3805 测距仪野外试验（摘要）……（161）
短程光电测距仪的检验……（166）
1974年在文德霍森实验网中对短程测距仪的比较试验……（193）
HP 3800 B测距仪的野外鉴定……（205）
CM-3型光电测距仪外业鉴定经验介绍……（212）
计算光电测距仪周期误差的一种方法……（214）
关于光电测距的精度估算问题……（216）
光电测距仪的视程和测程……（220）
短程光电测距仪测程的研究……（227）
电子测距仪加常数的测定……（231）
利用 EOK 2000 型光电测距仪在城市进行观测的精度研究……（236）
HP3820A（集成式电子测站）……（240）
威特TC1型速测仪的测量系统和记录系统……（252）
附　录……（260）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

电子测距二波和三波法的误差理论

M. Schädlich

在电子测距技术的不断发展以及精度要求的不断提高方面，除了误差传播模型化之外，1957年由 Прилепин М.Т.[2]建议的方法起着重要的作用，这个方法就是直接测定沿视线的载波的平均折射率。在直接测定较长的距离时，此方法较之根据在分散的点上（一般在两点上）测量的温度、气压和湿度求介质光速的惯用方法，其精度的提高是值得称赞的。

下面介绍了用两个群波长和三个群波长进行分散测距的数学模型，并根据高斯的传播定律，导出“自由参数”最佳化的推论。而后说明该方法的可信量测范围和有效范围。

一、数 学 模 型

1. 二波法

建立此方法的根据是：量测光谱范围为 $0.3\mu m<\lambda_{1,2}\leqq 1.0\mu m$ 的两个平均群波长 $\lambda_{1,2}$ 的光程长度 ns 之差 ΔR，由此来确定平均折射率 $n_{1,2}$。第二次趋近的式子是：

$$n_{1,2}=1+K_{1,2}\frac{|\Delta R|}{S}-1.5\cdot 10^{-5}\frac{e}{T} \qquad (1)$$

其中含有常数

$$K_{1,2}=K_{1,2}(\lambda_{1,2})=\frac{n_{0_{1,2}}-1}{|\Delta n_0|} \qquad (2)$$

柯西“标准值” $n_0=n_0(\lambda)$，蒸汽压 e（以托计）和绝对温度 T。为了计算附加项，一般知道线段的一个端点的气象场量值 e 和 T 即能满足要求。两个值对 $n_{1,2}$、$R_{1,2}$ 之一同时用于确定欧几里得距离 S。

由于

$$\Delta R=\frac{V_0}{\omega}\Delta\varphi=\frac{V_0}{2\pi f}\Delta\varphi\approx\Delta n_0 S, \qquad (3)$$

在略去真空光速 V_0、距离 S 和参数 e 及 T 的误差时，折射模型的随机分量为：

$$m^2_{n_{1,2}}=(n_{1,2}-1)^2\left[\left(\frac{m_{\Delta\varphi}}{\Delta\varphi}\right)^2+\left(\frac{m_f}{f}\right)^2+\left(K^{-1}_{1,2}\frac{m_{\Delta\lambda}}{\Delta\lambda}\right)^2\right] \qquad (4)$$

带有待量测的相位差 $\Delta\varphi$ 和调制频率 f。

由于

$|m_{\Delta\varphi}/\Delta\varphi|>10^{-3}$，$|m_f/f|<10^{-6}$ 和 $|m_\lambda|<0.1$ 毫微米（采用激光），当具有足够大的差值 $\Delta\lambda\geqq 0.25\mu m$ 和频率 $f>500$ MHz 时，得

$$m_{n_{1,2}} \approx (n_{1,2}-1)\frac{m_{\Delta\varphi}}{\Delta\phi} = K_{1,2}\frac{V_0 m_{\Delta\varphi}}{\omega S} = 常数_{1,2}\frac{m_{\Delta\varphi}}{S} \qquad (5)$$

基于能量的原因，以及由于大气干扰的影响（波动、湍流和闪烁），Прилепин M.T.建议测量反射器站的$\Delta\varphi$见〔2〕。其它测量技术问题可参阅〔3〕。

将式（1）至（5）代入下式

$$S = \frac{1}{2}\left(\frac{V_0 N}{n_{1,2} f} + R_{1,2}\right) + K + Z + G \qquad (6)$$

则

$$m_S^2 = m_K^2 + m_R^2 + m_Z^2 + \left[\left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + m_n^2\right]S^2 + 2m_R m_n r_{Rn} \approx$$

$$\approx C_0^2 + (C_1 S)^2 \qquad (7)$$

由此获得分散测距的数学模型。N为周期数，K为"仪器常数"，Z为两个对中分量的和，G为光路的曲率改正（$mG \approx 0$）。

"直接"确定平均折射率n有两个重要的误差理论结果：

（1）消除了"代表误差"$C_2 S$，根据公式（5）和（7），当略去关系式$m_R = m_R(S)$和相关量T_{Rn}时，则有：

$$C_0^2 \approx m_K^2 + m_Z^2 + \left(\frac{V_0}{\omega}\right)^2 (1+2K^2) m_\varphi^2 \qquad (8)$$

或

$$C_1^2 \approx (m_f/f)^2. \qquad (9)$$

（2）同样消除了随机交叉相关量r_{iK}^n

因此，估算值m_S^2的经验参数$C_{0,1,2}$和测距线的"误差传播"与惯用法〔4〕所采用的都有显著区别：

$$C_0^2 \approx m_K^2 + m_Z^2 + \left(\frac{V_0}{\omega}\right)^2 m_\varphi^2; \qquad C_1^2 \approx \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + m_{n_m}^2;$$

$$C_2 \neq 0 \neq r_n^{iK}. \qquad (10)$$

（n_m表示沿视线的有限个n的测定值的中数），实践中的某些结论将在第二节中叙述。

2．三波法

分散掌握空气湿度的影响和扩大测量范围的问题，将通过附加采用微波λ_M得到解决。然而，由于微波的作用距离较长，对实践有意义的适宜的折射模型是：

$$n_M = 1 + K_1\frac{\Delta R^{ML}}{S} + K_2\frac{\Delta R^L}{S} \qquad (11)$$

第一次趋近中适用的随机分量为

$$m_{n_M}^2 = \left(\frac{V_0}{2\pi S}\right)^2\left[\left(\frac{K_1}{f_M} m_{\varphi M}\right)^2 + 2\left(\frac{K^2}{f_L} m_{\varphi L}\right)^2\right]. \qquad (12)$$

适当地选择λ_M和$f_{M,L}$时，可以采用由迄今所获得的惯用观测成果m_R^{ML}所提示的近似值

$$m_{\varphi M}^2 \approx 2m_{\varphi L}^2 = 2m_\varphi^2.$$

然后

$$m_{n_M}^2 \approx \frac{1}{2}\left(\frac{V_0}{\pi S}\right)^2\left[\left(\frac{K_1}{f_M}\right)^2+\left(\frac{K_2}{f_L}\right)^2\right]m_\varphi^2. \tag{13}$$

函数值 $K_{1,2}$ ($\lambda_{1,2}$, T) 可由柯西、巴勒尔及西尔斯、埃森及费罗梅[1]所推导的 $n_{0,L,M}$ 的展开式求得。就

$$\lambda_{1,2}=\begin{cases}0.65\mu\mathrm{m}\\0.40\mu\mathrm{m}\end{cases};\quad t=15℃$$

而言，则

$$m_{n_M}^2 \approx \frac{1}{S^2}\left[(m_{\Delta R}^{ML})^2+(14m_{\Delta R}^{L})^2\right]. \tag{14}$$

因此，测量两种调制光波间的程差 ΔR^L，至少要比测量光波和微波间的程差精确到一个 10 的幂。所以测量技术的主要问题除了量测 $\Delta\varphi$ 外，仍然在于获得尽可能高的调制频率 $f_{L,M}$ 和差值 $\Delta\lambda_{1,2}$。

将方程式（11）和（13）代入（6）和（7），便产生三波法的数学模型，就是：

$$C_0^2 \approx m_K^2+m_Z^2+\frac{1}{2}\left(\frac{V_0}{\pi}\right)^2\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{f_M}\right)^2+\left(\frac{K_1}{f_M}\right)^2+\left(\frac{K_2}{f_L}\right)^2\right]m_\varphi^2 \tag{15}$$

而 $$C_1^2=(m_f/f)_M^2. \tag{16}$$

二、参数最佳化和有效范围

1．二波法

当惯用测距和分散测距具有同样的方差 $m_{K,Z,\varphi}^2$ 和 $(m_f/f)^2$ 时，由（8）至（10）显然有

$$|C_0|_{惯用}<|C_0|_{分散}\ 及\ |C_1|_{惯用}>|C_1|_{分散}. \tag{17}$$

由于 $x\approx 0$ 和 $S_0\approx|C_0/C_1|$，就误差理论的最佳视距而言[4]：

$$S_{0惯用}<S_{0分散} \tag{18}$$

由于随着 S^{-1} 而减小的标准误差 m_n 以及与惯用法相反的、在测量技术上起主导作用的参数 C_1，显然可以通过大地测量问题中的平均距离 $S_m=S_0$，来估计满足于目的函数

$$\frac{m_S}{S}=\text{最小}$$

即满足于原则 $S_0=|C_0/C_1|$ 的相应要求 $C_1=m_f/f$。人们可同时获得关于从误差理论上还是可信的测量范围的下限的判断标准。

表 1 所载乃就 $S_0=10$，30 和 50 公里利用下列参数算得的 m_S 分量

$$m_K=m_Z=\pm 2\mathrm{mm},\ \lambda_2=0.40\ \mu\mathrm{m},$$

$$\lambda_1=\begin{cases}0.65\mu\mathrm{m}\\1.00\mu\mathrm{m}\end{cases};$$

$$f=\begin{cases}0.75\mathrm{GHz}\ (\text{Прилепин})\\3.00\mathrm{GHz}\ (\text{Owens, Boulder})\end{cases};$$

$$|m_\varphi|=\begin{cases}0.^\circ36\triangleq 2\pi\cdot10^{-3}\\ 0.^\circ12\triangleq\dfrac{2}{3}\pi\cdot10^{-3}.\end{cases}$$

这些数字清楚表明，采用 Прилепин 方案时，与距离无关的分量 C_0 主要是由 m_φ 的误差所决定（$C_0\approx m_\varphi S$），在一般外界条件下，本方案的精度与惯用法的精度，当 $S_0\leqq10$ 公里时大致相应（$|m_{S_0}/S_0|\approx10^{-6}$）[4]。第二个方案则相反，$C_0$ 中取决于 $m_{n,\varphi}$ 的部分极小。随着 S_0 不断增长的必要的频率稳定性 C_1 仍然保持在可实现的范围内。

迄今尚处在发展阶段的这种方法，由于（1）和（2）式，它的预期的有效范围 $|m_S/S|_{min}$ 是由 $\lambda_{1,2}$，n_0 的误差影响以及平均值 t 和 e 得出的。对标准大气条件来说，此范围约为 $1\cdot10^{-7}$。由于略去 n 的梯度所引起的（6）中的模型误差$\ll10^{-7}$。

2．三波法

根据（13）和最佳地满足于 $\lambda_1=0.65\mu m$，$\lambda_2=0.40\mu m$ 的常数 $K_1\approx1$，$K_2\approx14$ 的关系式

$$f_M:f_L\approx K_1:K_2\approx50MHz:750MHz \qquad (20)$$

利用 $C_0=S_0C_1$，$t=15℃$，$|m_K|=15$ 毫米和上面采用的数值 $m_{\varphi,z}$，由（7）和（5），当 $S_0=30,60$ 和 100 公里时，得到表 2 所包括的分量 $C_{0,1}$ 和标准误差 m_{S_0}/S_0。以上数字表明，尽管技术要求较高并掌握了空气湿度，由于 f_M 的影响，n 和 S 的精度较之二波法仍然是有节度的。此方法的实际价值就在于有较大的测量范围（$S_{最大}>100$ 公里）。随着 S 和 f_M 的不断增长，其有效范围的数量级同样为 10^{-7}。

三、摘要和结论

现将以上粗略介绍的误差理论关系归纳如下：

1．分散测距时，平均折射率 n 在第一次趋近时对标准误差 m_S 的影响与视距 S 无关。为此，当分散测距和惯用测距的方差 $m^2_{K,z,\varphi}$ 和 $(m_f/f)^2$ 相等时，最佳视距可取

$$S_{0\,分散}>S_{0\,惯用}<10\text{ 公里}$$

2．相对标准误差 m_S/S 主要取决于参数 f 和 $\lambda_{1,2}$。应为：

$$1.0GHz\leqq f\leqq3.0GHz$$

$$0.3\mu m<\Delta\lambda<0.7\mu m$$

$$0.1^\circ<|m_\varphi|<0.5^\circ$$

（采用红外载波 λ_1）。由于“误差传播”，为了使物理参数或分量 m^2_S 最佳化，可以利用等权原理 $C_0=C_1S$[4]。

3．此方法的有效范围为 $S\geqq30$ 公里（采用激光）和 $|C_1|=|m_f/f|\ll10^{-6}$，此时大约 $|m_S/S|=10^{-7}$。

4．在反射器站测量光程长度差 ΔR 时，附加使用微波，本法的最大视距可提高到 $S_{最大}>100$ 公里。这时应有：

$$f_M\geqq50MHz(\lambda_M=0.8\text{厘米});\ f_L\geqq750MHz$$

有效范围同样约为 10^{-7}。

表 1　　二波法测量误差分量

S_0 〔公里〕	$\lvert m_n \rvert 10^7$	$\lvert m_n S_0 \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert C_0 \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert C_1 \rvert 10^7$	$\lvert m_{S_0} \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert m_{S_0}/S_0 \rvert 10^7$
10	7.9	7.9	8.4	8.4	11.8	11.8
	0.5	0.5	2.9	2.9	4.1	4.1
30	2.6	7.9	8.4	2.8	11.8	4.0
	0.2	0.5	2.9	1.0	4.1	1.4
50	1.6	7.9	8.4	1.7	11.8	2.4
	0.1	0.5	2.9	0.6	4.1	0.8

表 2　　三波法测量误差分量

S_0 〔公里〕	$\lvert m_{n_M} \rvert 10^7$	$\lvert m_{n_M} S_0 \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert C_0 \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert C_1 \rvert 10^7$	$\lvert m_{S_0} \rvert$ 〔毫米〕	$\lvert m_{S_0}/S_0 \rvert 10^7$
30	3.9	11.6	20.0	6.7	28.3	9.4
60	1.9	11.6	20.0	3.3	28.3	4.7
100	1.2	11.6	20.0	2.0	28.3	2.8

5．为了减少分段数起见，电子测距的分散法特别适用于长距离的导线（例如测量卫星三角测量的大地基线）。

6．由于此方法的技术要求较高，并且随着S的增长而精度有所下降，它使得进一步发展惯用的折射模型成为必要。凡是为地形断面所限不可能将长距离分段进行测量时（水面、沼泽地、高山区等等），都要进一步发展惯用的折射模型。

参 考 文 献

〔1〕Bondarenko, V.N.:Zur Bestimmung des Brechnungsindex der Luft nach dem Dispersionverfahren unter Verwendung von Funkwellen (russ) . Geodez i Kartogr, Moskva 17, ГиК (1972) 5.S.52—59.

〔2〕Prilepin, M.T: Lichtmodulationsverfahren bei der Bestimmung des mittleren Brechungskoeffizienten der Luft längs einer Linie(russ.) Tr. CNIIGAiK (1957) 114.S.127 bis 130

〔3〕Prilepin, M.T;Golubev, A.N.Könosenko,L.M.:; Refraktometer für die Bestimmung des mittleren Brechungskoeffizienten der Luft bei elektrooptischen Messungen (russ.)IZV.vyss, učebn.zaved, Geodez.i Aerofotos-emka, Moskva (1968) 2.S.62—67.

〔4〕Schädlich, M: Korrelationen und günstigste Zielweiten bei elektronischen Streckenmessungen, Vermessungstechnik 20 (1972) 10, S.388—391.

栾波 译自“Vermessungstechnik”1973年第9期，胡明城校

Mekometer Ⅲ的电子学原理

R.H.Bradsell

摘　要

Mekometer Ⅲ是一个测程为3公里的光电测距仪，达到很高的精度，本文介绍该仪器的电子学原理。

1. 引　言

Mekometer Ⅲ是由英国国家物理实验室设计的一种便携式电子测距仪，设计着重于概念和操作均简单，对于短距离精度可达亚毫米，但测程可达3公里。能够对气象条件进行自动改正。

使用特殊设计的熔融石英微波谐振腔当作波长标准，保证仪器的校正在长时期内保持固定不变。仪器精度为$\pm(0.0001\text{m}+3\times10^{-6}D)$，$D$为距离，以米为单位。观测时，仪器置于三脚架上，电源置于地面，远端的三脚架上安放逆向反射器。

2. 基本方法

以500兆赫调制椭圆度的偏振光射到远处的反射器，从反射器反射回来并解调。对发射和接收到的调制信号之间进行比相，用机械方法调整光程的长度，直至调到相差为零，说明距离是调制波的半波长的整倍数。

为了产生零相差可变光程所必需移动的量，就是超过调制半波长整倍数的距离的观测值。按细心选择的几步，把调制波长改变一个小的量，并在每次进行相位调制，就有可能解答测程中调制半波的整数。

工作在微波区的一个四分之一波长的熔融石英的谐振腔，监视调制波长。谐振腔里充满了干燥空气，并得到光路上的大气温度和压力。

调制波长表示为：

$$\lambda = f(L)\frac{\mu_r}{\mu_g}$$

式中$f(L)$是腔尺寸的线性函数，μ_r是普遍条件下腔内干燥空气的微波折射率，群折射率μ_g是沿着载波光程的折射率平均值。在很宽的条件范围内，这两种折射率的比基本是常数。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

3. 仪　器

为了使仪器简单和轻便起见，仪器的体积小，由电池供电，功耗也小。仪器由二个基本组件组成。一个是电源组件，包括镍-镉蓄电池，并附有转换器和稳压器；另一组件是发射机和接收机，通常安装在三脚架上。

发射机和接收机组件中除了光学系统和可变光程器外，还装有三个重要部件：脉冲氙闪光灯，作为光源；脉冲调制器和标准谐振腔。对后二部件将作较详细的说明。

调制器由 $\lambda/4$ 的短路传输线组成，在线的短路端附近分接上陶瓷三极真空管。由反馈回路把陶瓷管的阴极耦合到腔中。由阳极输入脉冲，就产生 500 兆赫振荡的高功率的短脉冲，其重复频率为 100 赫兹。脉冲振荡器可以在 10% 范围内调谐。

在传输线腔的开路端放置了二个 Z 切割的 KDP（磷酸二氢钾）晶体，分别作为调制器和解调器。

Mekometer Ⅲ 的测程是依据标准谐振腔的尺寸决定的。在这个意义上，仪器是一个比较器，它把距离和腔的尺寸的倍数作比较，所以仪器的性能与石英谐振器的稳定性有很大关系。

简单地说，谐振器是由镀银的熔融石英所制成的 $\lambda/4$ 的短路传输线，安装在铜套内，铜套的端片与 $\lambda/4$ 线的开端组成一个电容。这个电容用于补偿石英的热膨胀。

当石英膨胀时，腔的频率下降，铜套较大的膨胀使电容的板缩回，因而频率增加，产生了补偿。

标准谐振腔可以获得大气的温度和压力，虽然其内部的空气是干燥的。气象条件改变时，腔的频率改变，而调制波长是恒定的。

4. 电 子 线 路

电源

仪器所需的电源是 12 伏 6 安时的镍镉蓄电池，因为耗电为 18 瓦，故每次充电之后，可以连续工作 4 小时。

由图 1 的方框图可知，当仪器开关接通时，电源加到驱动调制器管子灯丝的稳压器上，并使风扇工作，它是用来使石英标准谐振腔中循环通风。

30 秒后电源开关使继电器接通（见图 2），12 伏接到电源变换器。当电池电压太低时，就不能接通了，这是由于 μA709 运算放大器不再供给电流来开动电源开关，这个放大器在此情况下是用来把部分电池电压和齐纳稳压二极管作比较。

仪器所需的各种电压由驱动环形扼流圈变换器产生。μA709 运算放大器用作占空比可变的 400 赫兹振荡器。+12 伏的线被取样，并经过一直流放大器用作改变振荡器的占空比，以调整变换器的各种直流输出。

电源中有一个次级交流/直流变换器，用来产生 −1500 伏高压，以供给光电倍增管之用。

分频器

由 μA709 振荡器取出 400 赫兹的输出，并分频产生 100 赫兹、 50 赫兹的输出。50 赫兹方波的输出作为二个同步开关的参考波形，并驱动杆簧开关的线圈。杆簧开关耦合到调制腔内的超高频电场，使腔内产生 50 赫兹的较小的偏离频率调制。

闪光灯

100 赫兹的方波被延时，并触发闸流管，闸流管使 0.1μF 电容放电，加到脉冲变压器的初级线圈。其次级尖峰电压达到 8 千伏，并触发 FX-6A 氙闪光灯，产生频率为 100 赫兹、脉宽为 1.5 微秒的高亮度的闪光脉冲。

阳极脉冲发生器

此外，100 赫兹的方波触发 40 微秒的单稳态电路，其输出加以放大，并驱动 1:20脉冲变压器的初级中的 2N3714 功率晶体管。1.5 千伏 40 微秒脉宽的脉冲供给调制管的阳极用。

光电倍增管

与此操作同步的是光电倍增管选通放大器接通，并通过变压器使二级管 3 至 5 回复到它们的正常工作电位，这样使光电倍增管选通。

工作时，由闪光灯出来的光脉冲是平面偏振的，然后通过 KDP 调制器射到远处目标反射器上。回来时，再经过调制器，被另一个 KDP 晶体解调，并经过交叉放置的检偏器后，射到光电倍增管的阴极上。

因为光电倍增管现在是选通的，阳极的输出脉冲调置调谐电路的负载振铃，这样有效地加宽脉冲。

鉴相器

用 μA709 运算放大器放大按指数衰减的振荡序列，并用一对偏置在阈值上的锗二极管检波。检波结果所得的包络线由一对负反馈的放大器放大，其向上转移断点（roll-off break point）是二千赫兹。

脉冲通过一个由 2C746 双晶体管组成的同步开关到达相位计。这样，使交替脉冲以相反方向通过相位计，因此，相位计检测到交替脉冲之间的幅度差。

只有当迭加在调制器频率上的扫描相对于零点不对称时，才会有幅度差存在，相位计的零点在中心，因此可以指示出为了化归为零可变光程应当移动的方向。必须注意，相位计用大电容阻尼，以克服大气湍流所引起的统计噪音。

标准谐振腔

为使调制器的波长安置在各种所需的数值上，使用以下系统。必须注意，基本调制频率 f_m 要能使 $\lambda_m/2 = 1$ 英尺，而其它各频率则精确地偏离基本频率 10%，1%，0.1% 和 0.01%。

在 20℃ 气温和 760mmHg 的气压下：

$$f_m = 491.6441 \text{ MHz}$$
$$f_m(1-1/10) = 442.4797 \text{ MHz}$$
$$f_m(1-1/100) = 486.7277 \text{ MHz}$$
$$f_m(1-1/1000) = 491.1525 \text{ MHz}$$
$$f_m(1-1/10000) = 491.5950 \text{ MHz}$$

在与石英标准谐振腔比较之前，调制频率通过阶跃恢复二级管增大 9 或 10 倍，然后与石英晶体振荡器的输出混频，以产生边带，边带中的一个落在标准谐振腔上。用下列系统：

$$9f_m - fx_1 = 4\,424.7972\ \text{MHz} - 22.1240\ \text{MHz} = fs$$
$$10f_m(1-1/10) - fx_1 = 4\,424.7972\ \text{MHz} - 22.1240\ \text{MHz} = fs$$
$$9f_m(1-1/100) + fx_1 = 4\,380.5492\ \text{MHz} + 22.1240\ \text{MHz} = fs$$
$$9f_m(1-1/100) - fx_2 = 4\,420.3724\ \text{MHz} - 17.6992\ \text{MHz} = fs$$
$$9f_m(1-1/10000) - fx_3 = 4\,424.3547\ \text{MHz} - 21.6815\ \text{MHz} = fs$$

在每一情况下，$fs = 4402.6732$ MHz。因此，5 个调制频率都与单一的石英标准相关。只要三个边带振荡器，它们也无需高稳定度，因为它们的频率只是 4.4 吉赫(GHz)标准频率的 0.5%。

被处理的调制频率扫过石英谐振器的 Q 曲线，产生一组振幅交替不同的 40 微秒脉宽的脉冲。只有当调制器和标准腔相符时，振幅才没有差异。

空腔检波器

脉冲列经检波后，由一 μA709 运算放大器放大，放大器的输出是耦合到一场效应晶体管上的交变分量。该晶体管具有第二个检波器和脉冲展宽器的双重作用。一个低通放大器激励一严格类似于用作鉴相器的同步开关。

自动增益控制

自动增益控制是同光敏-检测器一道使用的。信号是在鉴相器同步开关和耦合到一对检波二极管上的射极跟随器之前截止的。合成的直流通过一个长的时间常数的积分电路加到场效应晶体管的栅上。在场效应管源极中的一个 3.9 伏的齐纳二极管引进固定的自动增益控制延时。此外，一个手动的增益控制用来增加延时。接着场效应管是一个放大 10 倍的直流放大器，推动一个串联的调整功率晶体管。这就控制着加到 E.H.T（极高压）变换器的输入端上和光电倍增管选通放大器的收集极上的直流供电电压，因此选通脉冲振幅跟着 E.H.T.电压变化。

5. 仪器的校正

因为 Mekometer Ⅲ系统基本上是与光速无关的，最直接的校正方法，是把它放在一个已知距离的地方去调整石英标准谐振腔，以校正仪器。

第二种方法是要已知光速和气象条件时，利用公式 $f_m = \dfrac{C_0}{n_g \lambda_m}$ 去计算空气的折射率，公式中 C_0 是真空中的光速，n_g 是群折射率，λ_m 为调制波长（英制仪器中 $\lambda_m = 2$英尺；米制仪器中 $\lambda_m = 60$cm）。测量 f_m 的方法在〔3〕中已有介绍。

6. 概　要

这里概括一下仪器的特点。

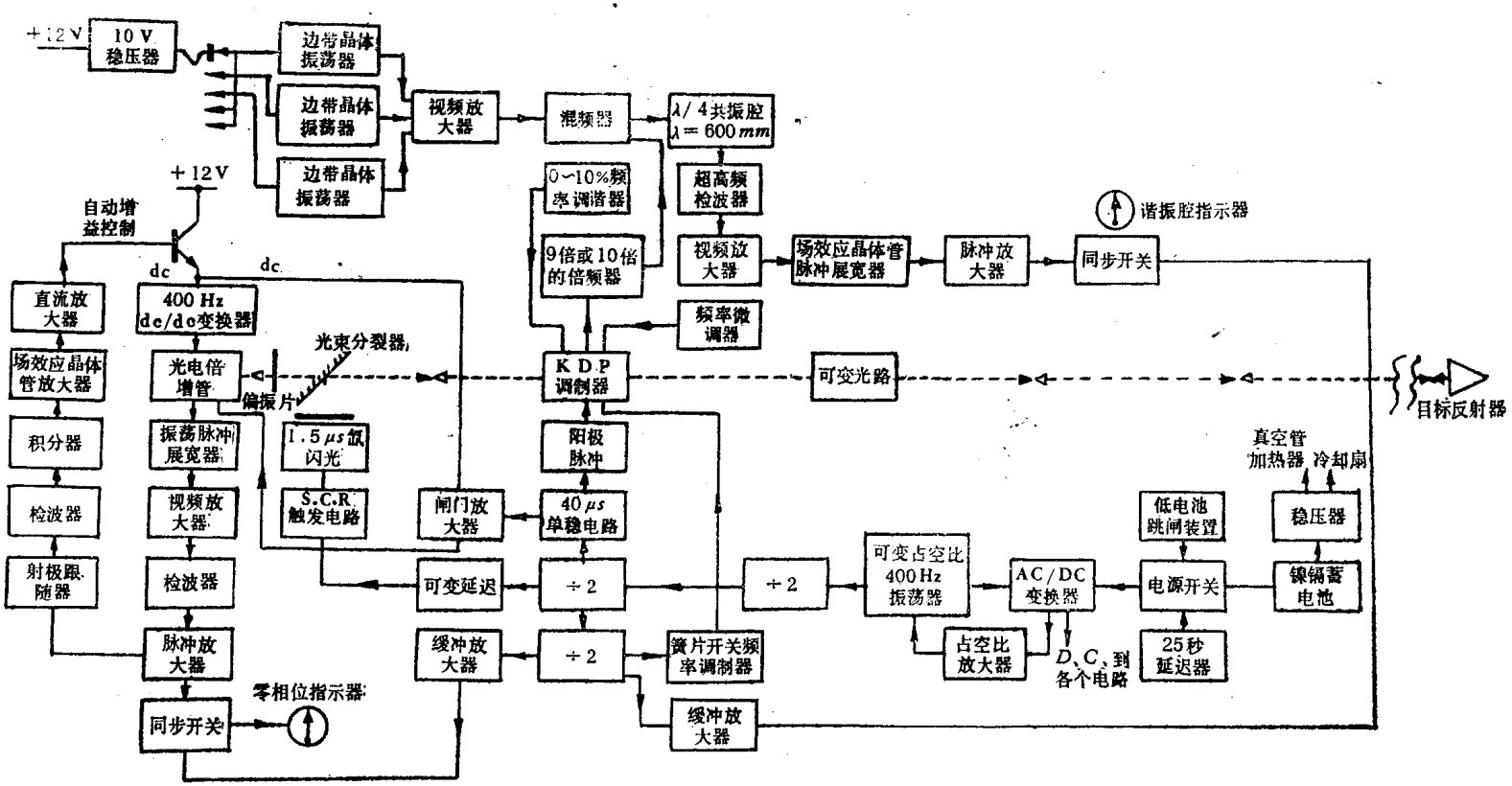

+12V
10 V 稳压器
边带晶体振荡器
边带晶体振荡器
边带晶体振荡器
视频放大器
混频器
λ/4共振腔 λ=600mm
超高频检波器
0~10%频率调谐器
9倍或10倍的倍频器
视频放大器
场效应晶体管脉冲展宽器
脉冲放大器
同步开关
谐振腔指示器
+12V
自动增益控制
dc
dc
直流放大器
400 Hz dc/dc变换器
场效应晶体管放大器
光电倍增管
光束分裂器
偏振片
频率微调器
KDP 调制器
可变光路
目标反射器
积分器
振荡脉冲展宽器
1.5μs氙闪光
阳极脉冲
真空管加热器
冷却扇
检波器
视频放大器
S.C.R 触发电路
闸门放大器
40μs 单稳电路
低电池跳闸装置
稳压器
射极跟随器
检波器
可变延迟
÷2
÷2
可变占空比 400 Hz 振荡器
AC/DC 变换器
电源开关
镍镉蓄电池
脉冲放大器
缓冲放大器
÷2
簧片开关频率调制器
占空比放大器
D、C、到各个电路
25秒延迟器
零相位指示器
同步开关
缓冲放大器

图 1　电子系统方框图

光电倍增管阳极上振铃电路频率的选择决不是随便的。仪器所看到的白天的背景光，趋向于使电路振铃，然而，假如适宜地调置频率，则40微秒白天光脉冲的后沿所在的相位就要制止振铃。

由于有了选通光电探测器，并且同步开关的带宽很窄，探测器的信噪比是很有利的。

由于主要系统是以具有1:250的占空比的脉冲模式在进行工作，所以功耗很低。

供电电源部分的效率很高，因为振荡-扼流变换器实际上是一个开关稳压器。

在可能的地方，还用了花费不多的集成电路。

7. 结　论

Mekometer Ⅲ的初样在世界各地做过野外试验，从多雪的冰岛到炎热的埃塞俄比亚。作者和其他的人在各种环境和严峻气候条件下使用仪器的经验，导致对电子系统作了一些改变，从而改进了仪器的性能和可靠性。

参 考 文 献

〔1〕Froome, K.D.and Bradsell, R.H.(1961), "Distance Measurement by means of a light ray modulated at a microwave frequency,J.Sci.Instrum.,Vol.38, pp.458—462.

〔2〕Froome,K.D.and Bradsell,R.H.(1966), "A new method for the measurement of distances up to 5 000 ft by means of a modulated light beam,J.Sci.Instrum,Vol.43,pp.129—133.

〔3〕Bradsell,R.H.(1966), "The electronic principles of the Mekometer Ⅰ", Electronic Eng.,Vol.38,pp.281—287.

庄蔚华译自"Survey Review",1971年，No.161,储钟瑞校

Mekometer Ⅲ：亚毫米分辨率的光电测距仪

K.D.Froome

摘　要

Mekometer 是分辨率为0.1毫米、最大测程为3公里的光电测距仪。英国国家物理实验所（NPL）的Mekometer Ⅰ原型表明，没有周期性的相位误差，并能自动校正折射率。

1. 引　言

本项工作的目的是设计一种高分辨率的短程和中程光电测距仪。这种仪器除了一般的测量工作外，还适用于土木工程和大型建筑的测量。还希望避免在相位量测系统中加改正数；免除繁琐的消除误差的日常工作，并且可能的话，自动改正大气折射率的影响而不需要在现场进行气温和气压测量。在完成 Mekometer Ⅲ 原型的发展阶段，所有这些目标都已达到。这种仪器的操作方式完全不同于现在能得到的所有其它仪器。

Mekometer 用光波作载波，但它不是用普通的调幅方法，而是用偏振调制。调制频率很高（约 500 兆赫），所以距离分辨率很高。超高频调制的另一优点是，可以用光学的可变光路来测相位，而不用电的系统。

调制波长的确定，是用一个由熔融石英构成的小型微波谐振腔的谐振作参考，微波腔的频率是相应于基本测量单位的调制频率的 9 倍。英制的 Mekometer Ⅲ 仪器的基本测量单位是 1 英尺，米制的 Mekometer Ⅲ仪器的是 30 厘米。

Mekometer Ⅲ是从调制频率为 9 GHz 的 Mekometer Ⅰ[1]和调制频率为 500 兆赫的 Mekometer Ⅱ[2]发展而来的。

2. 仪　器

Mekometer Ⅲ的光学元件展示在图 1 。以高压氙闪光灯所发出的、持续时间 1 微秒的强火花作光源，重复频率为 100 赫。经偏振片后产生平面偏振光，再经过磷酸二氢钾（KDP）晶体调制。解调（或检波）是用另一块 KDP 晶体。二块 KDP 晶体放在 $\frac{1}{4}$ 波长可调谐振腔的高阻抗端。对英制 Mekometer 仪器，腔的调制频率约为 492 兆赫，腔工作在脉冲状态，重复频率为 100 赫，脉宽 40 微秒。

每个晶体的光轴（即 z 轴）平行于调制腔中的电场，所以出来的光是这个腔的共振频率所调制的椭圆偏振光。利用所示的光学系统，这个光发射到待测距离的远端所安置的反射器上。反射回来的光经过内部可变光路后，进入第二个 KDP 晶体，然后到达光电倍增管的阴极。在解调晶体（第二个 KDP）和光电探测器之间有另一个偏振片，它的偏振轴与第一个偏振片的轴相垂直。

KDP 型晶体具有线性电光效应（泡克耳斯效应），所以通过第二个晶体后，偏振光的椭圆率或者是增加，或者是抵消，视电场的瞬时相位相对于远点返回光的调制相位而定。实际上，测量相位就是调节可变光路，直至光电倍增器“看到”极小。要注意 Mekometer 中的光电探测器不是相位测量系统的一部分。可变光路附有刻度尺（示于图 2），以便测出可变光学元件的位移，并用来驱动在它下面的读数度盘（图 2）。这两个度盘用来得出待测距离上调制半波的整数部分；在 Mekometer 中，这个过程是简单的，因为可变光路在测相上是无误差的方法。图 2 给出 KDP 晶体如何装在调制腔内的细节。实际上，用示零方法比直接看光电探测器的极小更好。这样，一个简单的电子改变，就把光电探测器的输出显示为指零表上所调置的零。指零表也以同样方式显示标

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com